

разработана конструкция гидроклинового оборудования (рис.7) с использованием специального пирамидального раскалывателя 5. Роль концентраторов напряжения в этой модели играют вспомогательные полуцилиндрические щеки 7, оснащенные продольными ребрами 8. За счет введения в конструкцию рабочего органа этих элементов повышается производительность труда в процессе раскалывания и разрушения элементов, подлежащих демонтажу.

Таким образом, разработанные конструкции ручного гидроклинового рабочего оборудования выполняют поставленные задачи по разрушению конструкций с большей эффективностью и меньшей энергоёмкостью, что обеспечивает получение экономического эффекта в результате внедрения такого оборудования в условиях производства. Применительно к одноковшовым гидравлическим экскаваторам, возможно использование этого типа оборудования в качестве навесного. Это даёт возможность выполнять достаточно большой спектр технологических операций, сократить при этом долю ручного труда, снизить травматизм, повысить уровень механизации реконструкционных работ.

1.Интернет-ресурс <http://www.tkgftbautechnik.com>.

2.Интернет-ресурс <http://www.miningandconstruction.sandvik.com>.

3.Интернет-ресурс <http://www.atlascopco.com>

4.Гидроклинове робоче обладнання: ПУ № 47218, В.В.Мелашич, В.І.Тейтель, 2009, МПК E02F3/28.

5.Гидроклинове робоче обладнання для реконструкційних робіт в будівництві: ПУ №47219, В.В.Мелашич, В.І.Тейтель, 2009, МПК E02F3/28.

6.Гидроклинове робоче обладнання для реконструкційних робіт: ПУ №47220, В.В.Мелашич, В.І.Тейтель, 2009, МПК E02F3/28.

*Получено 30.03.2011*

УДК 550.834 : 550.34

В.Ю.ЗАЙЦЕВ, д-р физ.-матем. наук, В.М.ДЕМКИН, канд. техн. наук  
*Институт прикладной физики РАН, г.Нижний Новгород (Российская Федерация)*  
Л.В.ЗАЙЦЕВА

*Высшая школа экономики, г.Нижний Новгород (Российская Федерация)*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ СКОРОСТЕЙ УПРУГИХ ВОЛН В СРЕДЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ТРЕЩИН**

Обсуждаются причины, по которым в ряде случаев давно используемые модели, описывающие связь упругих модулей среды и концентрацию трещин в ней, могут приводить к очень существенным ошибкам. Рассмотрена модифицированная форма широко используемого дифференциального подхода к описанию трещиносодержащих сред, позволяющая существенно улучшить согласование с экспериментом и повысить точность прогноза влияния поврежденности материала на его упругие модули.

Обговорюються причини, за якими давно використовувані моделі, що описують зв'язок пружних модулів середовища і концентрацію тріщин в ньому, в певних випадках можуть приводити до дуже суттєвих помилок. Розглянуто модифіковану форму широко вживаного диференційного підходу до опису тріщинодержачих середовищ. Запропонований підхід дозволяє істотно поліпшити узгодження з експериментом і підвищити точність прогнозу впливу пошкодженості матеріалу на його пружні модулі.

Here, we discuss the reasons, by which the widely used conventional models describing the relation of material elastic moduli and concentration of cracks in the material in certain cases lead to very significant inaccuracies. A modified form of the widely used differential approach to the description of crack-containing solids is presented. The model makes it possible to significantly improve the agreement with the experimental data and increase the accuracy of evaluation of the crack density based on measurement of the material elastic moduli.

*Ключевые слова:* сейсмоакустическая диагностика, трещины, дефекты, оценка поврежденности, упругие модули, скорости упругих волн, напряженное состояние.

Изменения величин скоростей упругих волн являются важным индикатором появления трещин в горных породах и развития поврежденности в инженерных материалах. В связи с этим сейсмоакустические и ультразвуковые методы являются одними из важнейших диагностических методов для широкого круга проблем, связанных, например, с геотехническими применениями типа мониторинга состояния пород в окрестности горных выработок, задачах прогнозирования сейсмоопасности при оценивании изменений состояния горных пород по изменениям соотношения измеряемых скоростей продольных и поперечных волн и т.д.

Достоверность оценивания концентрации трещин по акустическим и сейсмоакустическим измерениям во многом зависит от качества моделей, описывающих связь этой концентрации и результирующих изменений упругих модулей материала. Несмотря на большое число работ по этой проблеме [1], даже широко используемые модели, основанные на точных решениях для некоторых геометрий трещин, далеко не всегда способны адекватно описывать наблюдаемые соотношения между одновременными изменениями различных упругих модулей. В качестве иллюстрации на рис.1 приведен пример наблюдавшихся экспериментально одновременных изменений модуля сдвига  $G - G_0$  и объемного сжатия  $K - K_0$ , определяемых по изменениям величин скоростей  $V_s$  и  $V_p$  поперечной и продольной упругих волн в сухом песчанике “Weber” в зависимости от давления  $P$  на образец при изменении давления от нуля до 100 МПа (по данным работы [2]). На экспериментальные точки наложена зависимость, полученная на основе известной модели Будянского-О’Коннелла [1,3], использован-

ной в дифференциальной форме [4] для расчета изменений этих упругих модулей от начальных значений при нулевом давлении. Как видно, расхождение с расчетом оказывается чрезвычайно большим. При этом варьирование параметров модели (т.е. значений начальных скоростей и коэффициента Пуассона упругой среды-матрицы), даже выходя далеко за пределы возможной неточности их определения, не позволяет сколь-нибудь существенно улучшить согласование с экспериментом. В работах [5, 6] было показано, что помимо обычно обсуждающихся проблем точности предсказаний, связанных с выбором отмеченных выше параметров и формой модели (использования метода возмущений, «самосогласованного» или дифференциального вариантов) очень важным фактором является правильный выбор отношения податливости  $q$  трещин по отношению к нормальным и тангенциальным напряжениям. Помимо известного влияния на это соотношение насыщенности трещин жидкостью (что резко снижает их податливость на сжатие [2, 3], так что  $q < 1$ ), в работах [5, 6] из сравнения с экспериментами было показано, что даже для сухих трещин разброс величины  $q$  может достигать нескольких раз. При этом анализ моделей типа [3], основанных на известных точных решениях распределения напряжений вокруг эллиптических и дисковых трещин, показывает, что в рамках таких моделей величина отношения нормальной и сдвиговой податливостей  $q = (1 + \nu)(2 - \nu)$  (где  $\nu$  – коэффициент Пуассона упругой среды-матрицы). Поэтому при варьировании  $\nu$  фактически во всем физически допустимом диапазоне  $0 < \nu < 1$  отношение  $q$  меняется незначительно,  $2 \leq q \leq 2,25$ , что не позволяет адекватно описывать ситуацию, если реально  $q$  выходит за пределы этого диапазона, что и имеет место для образца “Weber” на рис.1.

В модели [5, 6], описывающей упругие свойства среды, содержащей трещиноподобные дефекты, последние описываются как высокоподатливые объекты, характеризуемые феноменологическими параметрами жесткости по отношению к нормальным и сдвиговым напряжениям, а далее изменения величин упругих модулей среды строго находятся, рассматривая запасенную средой упругую энергию и выполняя усреднение по различным ориентациям трещин. При этом такое построение может быть выполнено как полностью аналитически, экстраполируя результаты для малой концентрации на конечные величины, так и в рамках дифференциального подхода.

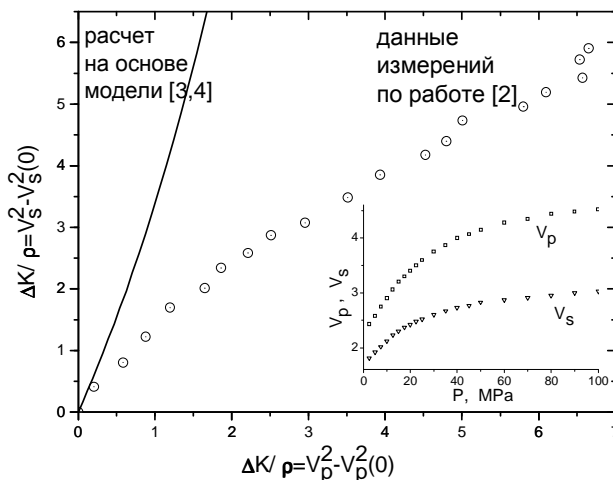


Рис.1 – Одновременные изменения модуля сдвига и объемного сжатия для песчаника “Weber” [2] за счет постепенного закрытия трещин при увеличении давления на образец от нуля до 100 МПа (символы). Линия соответствует расчету по модели [3], использованной в дифференциальной форме [4]. На вставке показаны исходные данные работы [2] по зависимости скоростей  $V_s$  и  $V_p$  от давления на образец

В данной работе модель [5, 6], первоначально сформулированная в форме, соответствующей методу малых возмущений, переформулируется в дифференциальной форме, позволяющей физически более адекватно учитывать, что при изменении количества дефектов на небольшую величину свойства материала уже изменены из-за влияния существующих дефектов и продолжают изменяться с дальнейшим изменением концентрации дефектов. В частности, в рамках такого подхода изменения модулей  $K$  и  $G$  при изотропной ориентации трещин в материале могут быть записаны в виде системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} dK/dN &= -\frac{K}{3[1 - 2\nu(K, G)]}, \\ dG/dN &= -G\left\{\frac{2}{15[1 + \nu(K, G)]} + \frac{2}{5q}\right\}, \end{aligned} \quad (1)$$

где коэффициент Пуассона выражается через эти модули известной связью  $\nu(K, G) = (3K - 2G)/(6K + 2G)$ , а величина  $N$  имеет смысл, близкий к параметру концентрации трещин в работе [3], т.е. суммарному объему описанных вокруг трещин сфер в единице объема среды.

Параметр  $q$  в такой модели жестко не задан, и его значение для реальных дефектов может быть определено из сравнения с экспериментом.

На рис.2 приведено наложение тех же экспериментальных данных, что и на рис.1, и результатов численного решения системы (1) для нескольких значений  $q$ , чтобы продемонстрировать важность правильного выбора отношения податливостей дефектов по отношению к сжатию и сдвигу. Приведенные на рис.2 результаты наглядно демонстрируют, что в обсуждаемом случае для реальных трещин в горной породе отношение нормальной и сдвиговой жесткости может в несколько раз отличаться от величин, типичных для эллиптических и дисковых трещин, на которых обычно основаны широко используемые модели. В данном примере лучше всего экспериментальным данным соответствует расчет при  $q = 8$ , тогда как модели типа [3, 4], основанные на точных решениях для дисковых (эллиптических) трещин, соответствуют значениям  $q$ , близким к двойке при любых физически допустимых вариациях коэффициента Пуассона упругой среды-матрицы. В случае таких отличий свойств реальных трещин от заложенных в модели они приводят к очень большим ошибкам в предсказываемых значениях одновременных изменений различных упругих модулей. Из представленных примеров расчета видно, что предложенная модель в дифференциальной форме при правильном выборе соотношения параметров жесткости трещин позволяет прогнозировать такие изменения с весьма высокой точностью. В частности, по измеренным величинам изменений скоростей продольной и поперечной волн уже в сравнительно небольшом диапазоне давлений (порядка 10-15 МПа) удастся достаточно точно оценить отношение  $q$  для трещин в исследуемом материале и далее существенно более точно предсказать дальнейшие изменения этих скоростей при увеличении давления до сотен МПа, приводящего к практически полному закрытию всех трещин.

Полученные результаты могут быть важны для различных геофизических приложений (существенного уточнения интерпретации данных сейсмоакустического зондирования в интересах нефте- и газоразведки), геотехнических применений типа мониторинга состояния пород в окрестности горных выработок, задачах прогнозирования сейсмоопасности при оценивании изменений состояния горных пород по изменениям соотношения измеряемых скоростей продольных и поперечных волн и т.д.

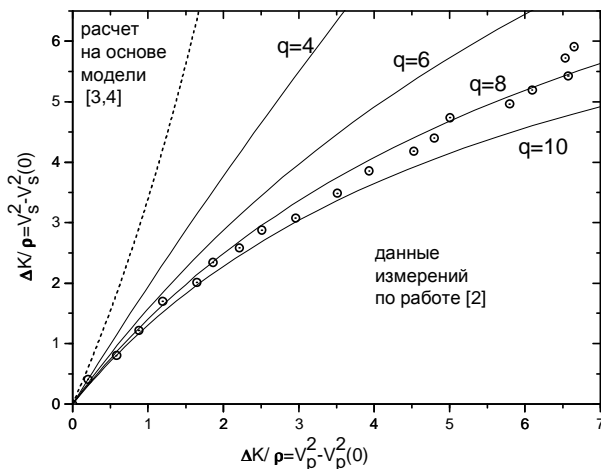


Рис.2 – Одновременные изменения модуля сдвига и объемного сжатия для песчаника “Weber” [2] за счет постепенного закрытия трещин при увеличении давления на образец от нуля до 100 МПа. Символы – данные измерений, те же, что и на рис.1. Пунктирная линия – расчет по модели [3, 4], которая приблизительно соответствует отношению нормальной и сдвиговой податливости дефектов  $q = 2$ . Сплошные линии соответствуют численному решению уравнений (1) для  $q = 4$ ,  $q = 6$ ,  $q = 8$  и  $q = 10$ .

1.Mukerji T., Mavko G., Dvorkin J. The Rock Physics Handbook. Cambridge Univ. Press, NY, 2009.

2.Mavko G., Jizba D. 1994. The relation between seismic P- and S-wave velocity dispersion in saturated rocks, Geophysics, 1994, V. 59, no. 1. – P.87-92.

3.Budiansky B., O’Connell R. Seismic velocities in dry and saturated rocks // J. Geophys. Res, 1974, V.79, no. 35. – P.5412-5426.

4.Henyey F.S. and Pomphrey N. Self-consistent elastic moduli of a cracked solid. Geophys. Res. Lett. 1982, V. 9, no. 8. – P.903-906.

5.Zaitsev V. and Sas P. Elastic moduli and dissipative properties of microinhomogeneous solids with isotropically oriented defects, Acustica-Acta Acustica, 2000, V.86. – P.216-228.

6.Зайцев В.Ю., Сас П. Влияние высокосжимаемой фракции пористости на вариации скоростей P- и S-волн в сухой и насыщенной породе: сопоставление модели и экспериментов // Физическая мезомеханика. – 2004. – Т. 7(1). – С.37-48.

Получено 03.03.2011

УДК 656.02 : 338.47

І.О.ГАВРИЛЕНКО

*Харківська національна академія міського господарства*

## **ДО ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СИСТЕМ ВОДО- ТА ГАЗОПОСТАЧАННЯ**

Розглядаються проблеми безпеки систем водо- та газопостачання. Адаптується метод побудови математичних моделей для розрахунку функціональної надійності інженерних мереж до питання підвищення безпеки систем водо- та газопостачання.

Рассматриваются проблемы безопасности систем водо- и газоснабжения. Адаптируется метод построения математических моделей для расчета функциональной надежности инженерных сетей к вопросу повышения безопасности систем водо- и газоснабжения.

The article is devoted to the problems of safety of water and gas-supply systems. The method of construction of mathematical models for functional reliability calculation of engineering networks is adapted to problem of increase of safety of water and gas-supply systems.

*Ключові слова:* системи водо- і газопостачання, трубопровідна мережа, цільовий продукт, функціональна надійність, аварійно-ремонтна зона.

Сучасні трубопровідні системи являють собою складні інженерні споруди, що вимагають для свого створення і експлуатації великих матеріальних витрат. Ці витрати пов'язані, з одного боку, з необхідністю задовольняти поточну потребу населення в тому або іншому цільовому продукті (воді або газі), а з іншого – з необхідністю забезпечувати безперебійну роботу водопровідної або газопровідної мережі протягом деякого періоду часу.

Аналіз досліджень з питань експлуатації та розвитку систем водо- та газопостачання м.Харкова і Харківської області [1, 2] свідчить про те, що для газопроводів характерне природне фізичне старіння металу труб і ізоляції. Положення погіршується ще тим, що 90% газопроводів знаходяться в зонах небезпечного впливу блукаючих струмів. Аналіз кількості витоків газу із підземних газопроводів показує, що 80% з них виникають через електрохімічну корозію, спровоковану блукаючими струмами. Некероване руйнування металевих трубопроводів – погроза виникнення техногенних аварій.

У сформованій ситуації треба вжити кардинальні заходи для підвищення технічної і функціональної надійності системи газопостачання Харківського регіону. В цей час у м.Харкові розроблено й впроваджуються три програми поліпшення стану і підвищення безпеки газопостачання [2]:

- програма підвищення ефективності роботи й розвитку служби аварійно-відбудовних робіт;